



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2007

Geochemische und tonmineralogische Untersuchung einer Catena im Südtessin

Zanelli, Remo ; Egli, Markus ; Giacciai, Daniele ; Mirabella, Aldo

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-76323>

Journal Article

Accepted Version

Originally published at:

Zanelli, Remo; Egli, Markus; Giacciai, Daniele; Mirabella, Aldo (2007). Geochemische und tonmineralogische Untersuchung einer Catena im Südtessin. BGS Bulletin, 29:109-114.

Geochemische und tonmineralogische Untersuchung einer Catena im Südtessin

Remo Zanelli^a, Markus Egli^a, Daniele Giaccai^b, Aldo Mirabella^b

^a Geographisches Institut, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich

^b Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Piazza D'Azeglio 30, 50121 Firenze

Zusammenfassung:

Eine Bodensequenz bestehend aus nord- und südostexponierten Standorten mit unterschiedlichen Hangneigungen wurde in einem eng begrenzten Gebiet in der Nähe von Ascona in der Südschweiz untersucht. Gemessen wurden Totalgehalte an C und N, Anteil an Fulvo- und Huminsäuren, pH, KAK und selektiv lösliches Fe und Al. Die Bodenmineralogie wurde mittels Röntgendiffraktometrie und IR-Spektroskopie analysiert.

An den nordexponierten Standorten waren höhere Gehalte an Feinerde, org. C und oxalatlöslichem Fe feststellbar als an südostexponierten. Bei den Tonmineralien zeigten sich höhere Gehalte an Vermikulit, und an zwei Standorten konnte zudem auch Smektit in geringen Mengen gemessen werden. Mit zunehmender Hangneigung nahm der Anteil der Fraktion >2mm generell zu, während die Konzentration an org. C abnahm. Da sich alle Standorte in einem eng begrenzten Gebiet befinden, dürfte die Niederschlagsmenge zwischen diesen kaum variieren und für die unterschiedliche Bodenbildung daher nicht ausschlaggebend sein. Die Exposition und somit die Temperatur scheint einen grösseren Einfluss zu haben in dem sie u.a. auch die Wasserverfügbarkeit im Boden beeinflusst. Generell sind trockeneren Böden an den südexponierten Standorten zu erwarten. Die Verwitterung verläuft an nordexponierten Standorten intensiver, wo eine höhere Bodenfeuchte die Verwitterung begünstigt.

Abstract: A catena in southern Ticino with respect to geochemistry and soil mineralogy

A soil sequence with respect to north- and south-east facing sites and to slope was investigated in a narrow area close to Ascona in southern Switzerland. Organic C, fulvic and humic acids, pH, CEC, oxalate dithionite and pyrophosphate extractable Fe and Al contents were determined. Clay mineralogy was studied using XRD and IR-spectroscopy. On north-facing sites, we measured generally higher organic C contents than on southeast-exposure, a higher CEC, oxalate extractable Fe content and more fine earth. Regarding the clay mineralogical characteristics we found higher contents of vermiculite and, at two sites, some smectite on north-facing sites. With a steeper slope a decrease of the total C content and a higher amount of the fraction >2mm was measured indicating an increase of erosion.

Precipitation is for all sites in a similar range and should, therefore, not be the determining factor. It seems that exposure and thus temperature has in our soils a greater influence as it also affects water availability. The southeast-facing sites are generally drier, due to the stronger evaporation. The degree of chemical weathering seems to be enhanced on north-facings sites that are supposed to have a higher soil moisture when compared to the southeast-facing sites.

Keywords: Catena, XRD, selective extractable elements, vermiculite

1. Einführung

Im Rahmen einer Studie, in welcher der Einfluss von immergrünen Pflanzen, sogenannten Laurphyllen, und Kastanien auf die Bodenverwitterung und Tonmineralogie untersucht wurde, liess sich im Raum Ascona eine grosse Variabilität von Bodeneigenschaften beobachten. Besonders auffällig waren Änderungen entlang einer Toposequenz in der Nähe von Ascona, die hier

nun detailliert beschrieben wird. Nach JENNY (1941) kann die Bodenbildung als Funktion von (mehr oder weniger) unabhängigen Faktoren beschrieben werden:

$$\text{Bodenbildung} = f(pt, cl, tp, t, org)$$

mit *pt* für das Ursprungsmaterial, *cl* beschreibt das Klima, *tp* steht für Topographie, *t* für Zeit und *org* bezeichnet den Einfluss von Organis-

men.

Um den Einfluss eines einzelnen Faktors zu untersuchen, sollten die anderen möglichst konstant oder zumindest deren Einfluss untergeordnet sein. Bei der untersuchten Catena ändert die Topographie (Exposition und Hangneigung), während die anderen Faktoren gleich bleiben. Die Geologie im Untersuchungsgebiet wird primär durch Gneisse und Glimmerschiefer dominiert. Vereinzelt können auch basische Amphibolit-Gänge beobachtet werden. Das Klima ist mit einer jährlichen Niederschlagsmenge von 1700mm und einer Jahresmitteltemperatur von rund 11.5°C (Daten von Locarno, EDI, 1992) feucht und gemässigt. Während den trockenen Wintern kommt es regelmässig zu Waldbränden. Davon zeugen Kohlestücke, die sich verbreitet im Boden finden lassen. Der Frühling und der Herbst sind relativ feucht, während im Sommer sich gelegentlich Gewitter bilden. Unterhalb von 1000m.ü.M. dominieren im Südtessin Kastanien, welche die Römer eingeführt haben. Die Kastanie konnte oberhalb Ascona auf rund 2000 Jahre datiert werden (BURGA und PERRET 1998, ZOLLER 1960). Bei der Wahl der Standorte für die Catena wurden aber ausschliesslich Standorte mit der älteren und ursprünglicheren *Quercetum-Betuletum*-Vegetation gewählt (TINNER et al. 1999), welche heute noch vereinzelt in der Umgebung von Ascona vorkommt. Im Untersuchungsgebiet dominieren Trauben- und Stieleichen sowie Birken. Untergeordnet kommen auch kleine Grauerlen vor. Die Standorte sind seit der letzten Eiszeit eisfrei (HANTKE 1978, 1983), so dass das Alter der Böden auf rund 20'000 Jahren geschätzt werden kann (Zeit seit der letzten Vergletscherung).

Diese Toposequenz erlaubt nun den Einfluss der Exposition und Hangneigung auf die Bodenchemie und Tonmineralogie zu untersuchen. In den Schweizer und Italienischen Alpen existieren diesbezüglich nur wenig Daten.

2. Material und Methoden

Die Catena besteht aus je drei Standorten auf der Nord- beziehungsweise Südostseite sowie einem Standort im Tal (Abb. 1, Tabelle 1). Pro Standort wurden auf einer Fläche von rund 3 x 3 m rund 1.5-2kg Boden aus den obersten 10cm (ohne Streuschicht) gesammelt.

Die folgenden Analysen wurden an ofengetrockneter Feinerde durchgeführt: Totale Kohlenstoff- (= C_{org} , da kein karbonatisches C vorhanden) und Stickstoff-Gehalte mit einem C/H/N-Analyser (Elementar Vario EL, elementar Analysensysteme GmbH), Boden-pH in einer 0.01 M $CaCl_2$ -Lösung mit einem Boden Lösungsverhältnis von 1:2.5, Kationenaustauschkapazität (KAK) mit einer 0.1 M $BaCl_2$ -Lösung (nach FAC 1989). Die Fraktionierung in Fulvo- und Huminsäuren erfolgte anhand der unterschiedlichen Lösungseigenschaften in Basen und Säuren (TRUMBORE und ZHENG 1996). Dithionit-, oxalat- und pyrophosphatlösliches Al und Fe wurden nach MCKEAGUE et al. (1971) und FAC (1989) bestimmt. Die Elementkonzentrationen wurde anschliessend mit Atomabsorption-Spektroskopie gemessen.

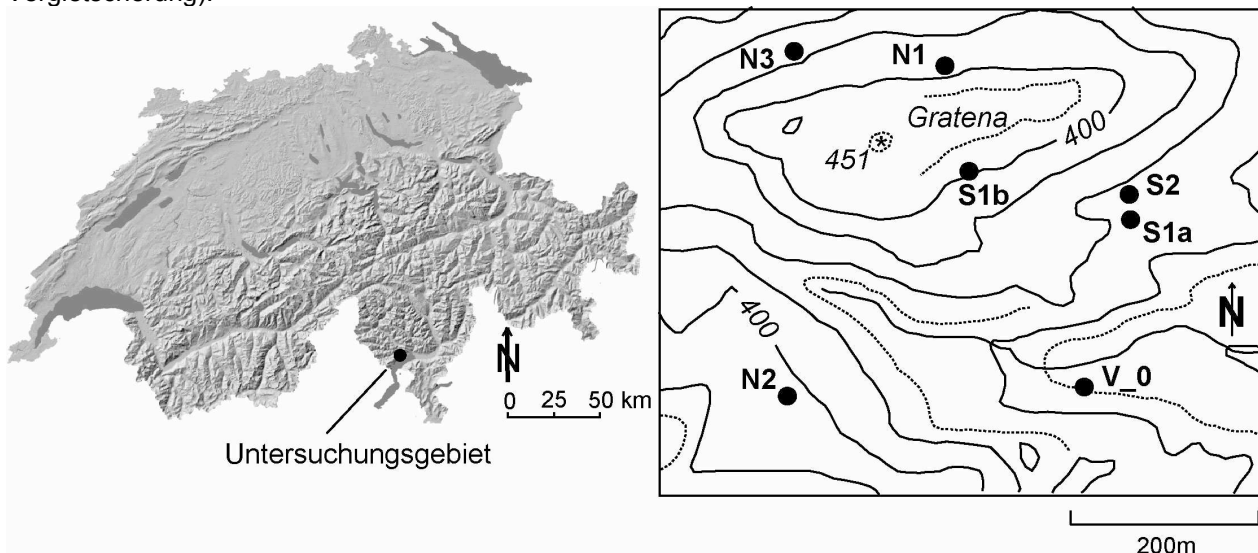


Abb. 1. Untersuchungsgebiet und schematische Übersicht der Catena. Die Äquidistanz beträgt 20m.

Tabelle 1. Übersicht der Standorte der untersuchten Catena (HA = Huminsäuren, FA = Fulvosäuren).

Standort	Exposition	Hang- neigung	Höhe m. ü. M.	Feinerde %	pH CaCl ₂	C _{org} g/kg	HA g/kg	FA g/kg	KAK mmol _c /kg
S2	SE	15-20°	400	55.0	3.7	110	24.15	8.78	9.5
S1a	SE	10-15°	390	72.6	3.6	109	38.83	5.74	10.5
S1b	SE	10-15°	420	90.3	3.8	120	33.93	5.39	9.3
V_0			350	88.3	3.2	158	33.95	8.13	16.5
N1	N	5°	410	97.6	3.0	194	66.07	6.71	20.4
N2	N	10°	410	98.5	3.5	175	53.93	6.52	15.3
N3	N	20-25°	390	84.7	3.4	140	44.95	5.81	14.7

Die Tonfraktion ($< 2\mu\text{m}$) wurde nach Zerstörung der organischen Substanz mittels verdünnter H_2O_2 Lösung, Dispersion mit Calgon mit anschließender Sedimentation in Wasser, gewonnen (CARNICELLI et al. 1997). Die Röntgendiffraktometrie-Messungen erfolgten an orientierten Proben mit $\text{Cu-K}\alpha$ Strahlung von 2 to $15^\circ 2\theta$ in Schritten von $0.02^\circ 2\theta$ pro 2 Sekunden. Folgende Behandlungen wurden angewandt: Mg Sättigung, Ethylenglykol Bedampfung (EG) und K Sättigung mit anschließendem Heizen der Proben während 2 Stunden auf 335°C und 550°C . FT-IR Messungen der Tonfraktion wurden im Spektralbereich von 4000 bis 250cm^{-1} aufgenommen. Verwendet wurden Pillen von 1mg Probe und 250mg KBr, welches zuvor auf 150°C erhitzt wurde.

3. Resultate

Organische Substanz

Viele Böden in dieser Region sind gekennzeichnet durch eine dunkle Farbe, die sich vorwiegend auf den hohen organischen C Gehalt zurückführen lässt. An den nordexponierten Standorten waren höhere Gehalte an C_{org} , eine höhere KAK und tiefere pH-Werte messbar (Tabelle 1). Während sich beim Fulvosäuren-Gehalt keine wesentlichen Unterschiede zeigten, waren bei den Huminsäuren deutlich höhere Konzentrationen an den nordexponierten Standorten feststellbar. Der Einfluss der Hangneigung war sehr ausgeprägt. Mit zunehmender Hangneigung, unabhängig von der Exposition, sank der Anteil der Feinerde und der organischen Substanz markant.

Selektiv lösliches Al und Fe

Im Gegensatz zu Al, wo kein Trend erkennbar war, fanden sich generell höhere Gehalt an selektiv löslichem Fe (Fe_d , Fe_o , Fe_p) an den nordexponierten Standorten (Abb. 2).

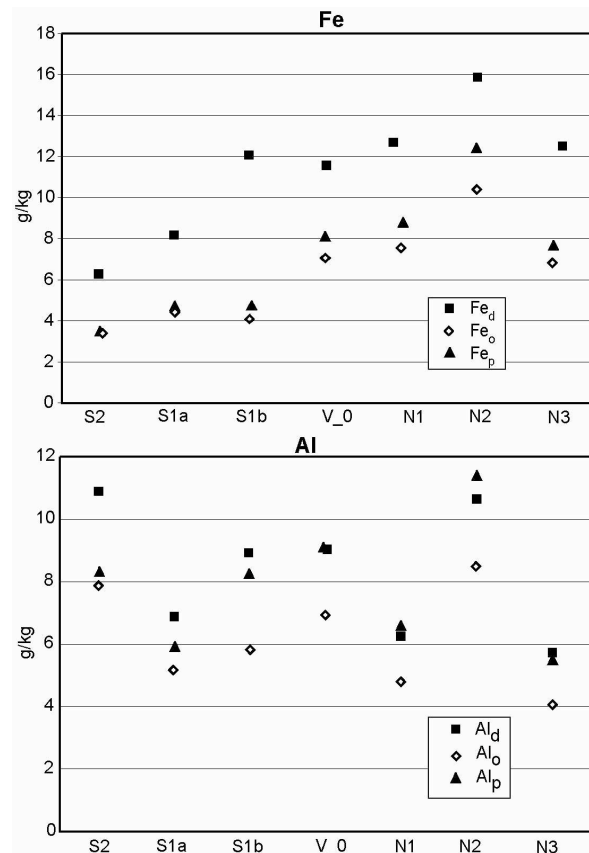


Abb. 2. Selektiv lösliches Aluminium und Eisen (d = dithionit-löslich, o = oxalat-löslich, p = pyrophosphat-löslich).

Tonmineralogie

Die Feinerde wird durch die Silt- und Sandfraktion dominiert. Der Tongehalt liegt generell unter 20%. Die Röntgendiffraktogramme sind in Abbildung 3 ersichtlich. Die südostexponierten Standorte wiesen ähnliche Spektren auf. Nach einer Mg-Sättigung zeigten sich Peaks bei 1.43 , 1.01 und 0.71nm . Der Peak bei 1.01nm kann einem Glimmer und derjenige bei 0.71nm Kaolinit zugeordnet werden. Kaolinit ist in allen Proben vorhanden und wurde mit IR-Spektroskopie

bestätigt (Band bei 3695cm^{-1} , Abb. 4). Für die Interpretation des 1.43nm -Peaks waren weitere Behandlungen notwendig. Smektit kommt nicht vor oder nur in Spuren, da eine Behandlung mit Ethylenglykol (EG) zu keiner Änderung führte. Nach Sättigung mit K zeigte sich ein leichter Anstieg des Peaks bei 1.0nm , was auf Vermikulit hinweist. Heizen auf 335°C verursachte einen partiellen Kollaps des 1.43nm -Peaks, was typisch für Vermikulite mit chloritischen Zwischenschichten (HIV) ist. Ein gewisser Restpeak behielt die Position auch nach Heizen auf 550°C , was auf Chlorit hinweist. Mit zunehmender Hangneigung war ein schwacher Anstieg des Peaks bei 1.0nm feststellbar, welcher Mica (Glimmer, Illit) zugeordnet werden kann.

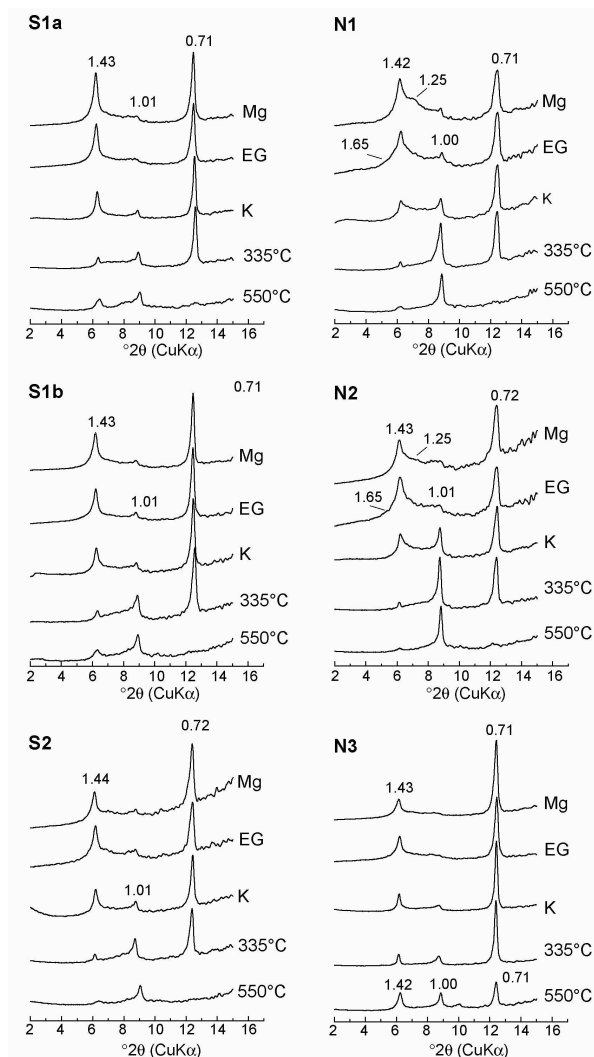


Abb. 3. Röntgendiffraktogramme der Tonfraktion der untersuchten Catena. Die Kurven sind geglättet, sowie korrigiert gemäss Lorentz- und Polarisationsfaktor. Die d -Werte sind in nm angegeben.

Die Diffraktogramme der nordexponierten Standorte wiesen unter sich gewisse Unterschiede auf. N1 und N2 waren vergleichbar,

während N3 deutlich abwich. Nach Mg-Sättigung zeigten sich Peaks bei 1.42 , 1.01 und 0.71nm . Der Peak bei 1.01nm kann Glimmer zugeordnet werden. Nach EG-Bedampfung war ein schwacher Peak bei 1.65nm erkennbar, was auf Smektit hinweist. N1 und N2 haben einen vergleichsweise hohen Anteil an Wechsellagerungsmineralien (Peaks zwischen 1.0 und 1.4nm , 1.25nm bei N1). Sättigung mit K führte bei allen Proben zu einem markanten Anstieg des Peaks bei 1.0nm . Daraus kann auf Vermikulit geschlossen werden. Der grösste Teil des 1.43nm Peaks kollabierte nach Aufheizen auf 335°C und deutet auf HIV hin. Chlorite lassen sich aufgrund des Restpeaks bei 1.4nm nach Heizen auf 550°C bestimmen. Im Gegensatz zu N1 und N2, liess sich bei N3 nur wenig Glimmer und HIV, aber viel Chlorit nachweisen.

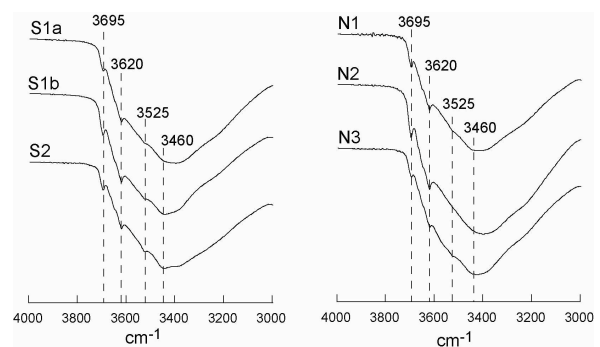


Abb. 4. Infrarot-Spektren der Tonfraktion.

Alle Infrarot-Spektren zeigten ein deutliches Adsorptionsband bei 3695cm^{-1} , welches charakteristisch für Kaolinit ist. Es waren keine wesentlichen Unterschiede in Bezug auf Kaolinit zwischen den einzelnen Standorten feststellbar. Banden bei 3620 , 3525 , 3460 und 3390cm^{-1} weisen auf das Al-Hydroxid Gibbsit hin. Diese Banden werden mit zunehmender Hangneigung deutlicher.

4. Diskussion

Bodencharakteristik

Die Böden in der Region sind gekennzeichnet durch einen hohen Gehalt an organischer Substanz und schlecht kristallinen Al- und Fe-Phasen, sowie einem tiefen pH-Wert. Die speziellen klimatischen Gegebenheiten zusammen mit dem sauren und Al-reichen Ursprungsmaterial sowie aufweitbare Tonmineralien mit chloritischen Zwischenschichten können für die Stabilisierung der organischen Substanz verantwortlich sein (ZANELLI et al. 2006b). Die Kastanie mit ihrem schlecht abbaubaren Laub scheint nicht der hauptsächliche Grund zu sein, da unter Eichen/Birkenwäldern höhere Gehalte an organischer Substanz feststellbar waren (ZANELLI 2006a). In unmittelbarer Nähe der hier beschrie-

benen Toposequenz sind zwei Profile detailliert beschrieben worden (ZANELLI et al. 2006b), die sowohl Eigenschaften von Podzolen als auch Andosolen aufwiesen. Eine Verlagerung von Si und Al im Oberboden und die Bildung von Allophanen (ITM) im Unterboden liessen sich nachweisen. BLASER et al. (1997) beschreibt weiter aus der Südschweiz Cryptopodzole, bei denen der Auswaschungshorizont durch organische Substanz maskiert sein soll.

An den nordexponierten Standorten wurden deutlich höhere Gehalte an C_{org} gemessen. Dies stimmt nicht mit Beobachtungen aus dem Val di Rabbi überein, wo diesbezüglich kein eindeutiger Trend festgestellt werden konnte (EGLI et al. 2006). Die höheren Werte an KAK lassen sich weitgehend mit dem Gehalt an organischer Substanz erklären. Während der Anteil an Fulvosäuren keinen wesentlichen Unterschied aufwies, zeigten sich deutlich höhere Werte an Huminsäuren an den nordexponierten Standorten.

Auf der Nordseite fanden sich höhere Gehalte an Vermikulit, während auf der Südostseite HIV vorherrschten. Smekтите, welche als Indikator für starke Verwitterung betrachtet werden können (CARNICELLI et al. 1997, MIRABELLA und SARTORI, 1998, EGLI et al. 2003), liessen sich an zwei nordexponierten Standorten nachweisen. Generell scheint die Verwitterung auf der Nordseite fortgeschrittener zu sein. Auf der Südostseite wiesen die einzelnen Standorte nur geringe Unterschiede. Eine leichte Zunahme an Glimmer mit der Hangneigung ist hier feststellbar und kann auf Erosion zurückgeführt werden. Der Standort N3 weicht von den anderen deutlich ab. Dies lässt sich möglicherweise auf Unterschiede im Ursprungsmaterial zurückführen. Obwohl alle Standorte auf saurem gneishaltigem Ursprungsmaterial gewählt wurden, konnte der Einfluss von kleinräumig vorhandenen Amphibolit-Gängen nicht in jedem Fall völlig ausgeschlossen werden.

Fe und auch Al sind sehr stark an die organische Substanz gebunden (ZANELLI et al. 2006c). Der Gehalt an Fe (Fe_d , Fe_o , Fe_p) war an den nordexponierten Standorten höher, was sich ebenfalls auf eine intensivere Verwitterung zurückführen lässt. Für Al ist interessanterweise aber kein Trend erkennbar.

Die Hangneigung hat wie erwartet einen grossen Einfluss auf verschiedene Bodeneigenschaften. Gewöhnlich zeigt sich mit zunehmender Hangneigung ein Anstieg der Erosion, welche u.a. durch einen höheren Anteil der Fraktion $> 2mm$ oder geringeren C_{org} -Gehalt gekennzeichnet ist. Mit zunehmender Hangneigung waren deutlichere Adsorptionsbänder von Gibbsit feststellbar. Entweder kommt Gibbsit häufiger vor oder die charakteristischen Banden werden weniger von der H_2O -Bande überlagert, welche zumindest teilweise von der organischen Substanz her stammt.

Die Exposition führt im Südtessin zu messbaren Unterschieden bei Verwitterung und Bodenbildung. Da das Ursprungsmaterial, Alter, Vegetation und das allgemeine Klima vergleichbar sind, bleiben als Ursache noch topographische und somit kleinräumige klimatische Unterschiede übrig. Die Verwitterung und Bodenbildung scheinen an den nordexponierten Standorten intensiver zu sein. Nordexponierte Standorte haben generell tiefere Temperaturen und eine höhere Bodenfeuchte als südostexponierte Lagen. Die Temperatur bestimmt über die Evaporation die Wasserverfügbarkeit in einem Boden. Wasser (bzw. Wasserverfügbarkeit) scheint daher trotzdem der bestimmende Faktor zu sein. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kamen auch EGLI et al., (2006) und SARTORI et al. (1997, 2004a, 2004b) während einer Bodenkartierung in alpinen Regionen Norditaliens.

Für die Catena wurden ausschliesslich Standorte mit der älteren *Quercetum-Betuletum* Vegetation gewählt. Die vor rund 2000 Jahren eingeführten Kastanien kommen in unmittelbarer Nähe der Catena vor. Die bei der Untersuchung der Toposequenz festgestellten Trends konnten unter Kastanien nur teilweise bestätigt werden (Daten noch unveröffentlicht). Es scheint, dass die Einfuhr und Nutzung der Kastanien die Bodeneigenschaften zumindest teilweise verändert haben.

5. Schlussfolgerungen

Obwohl alle Standorte in einem eng begrenzten Gebiet gewählt wurden, konnte markante Unterschiede betreffend Exposition und Hangneigung festgestellt werden. Je steiler desto geringer war der Anteil an organischer Substanz und der Feinerde. Die Exposition hatte einen auffallenden Einfluss auf den Gehalt und Qualität der organischen Substanz und beeinflusste ebenfalls die Tonmineralogie. Es scheint, dass die Verwitterung an den nordexponierten Standorten intensiver ist. Aufgrund der geographischen Nähe dürfte die Niederschlagsmenge nicht gross variieren. Die Temperatur hat einen grösseren Einfluss, in dem sie die Wasserverfügbarkeit im Boden beeinflusst. Dies führte zu trockeneren Böden an südostexponierten Lagen. An den nordexponierten Standorten, begünstigen tiefere Temperaturen und eine grössere Bodenfeuchte die Verwitterung und somit auch die Bodenbildung.

6. Verdankungen

Ein ganz besonderer Dank geht an Bruno Kägi für die Unterstützung im Labor und dem Schweizerischen Nationalfonds (200021-100117) für die finanzielle Unterstützung.

7.Literatur

- BLASER P., P. KERNEBEEK, L. TEBBENS, N. VAN BREEMEN and J. LUSTER, (1997): Cryptopodzolic soils in Switzerland. *European Journal of Soil Science* 48, 411-423.
- BURGA, C. and R. PERRET, (1998): Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott Verlag, Thun.
- CARNICELLI, S, A. MIRABELLA, G. CECCHINI and G. SANESI, (1997): Weathering of chlorite to a low-charge expandable mineral in a spodosol on the Apennine mountains, Italy. *Clays and Clay Minerals* 45, 28-41.
- EDI (Eidgenössisches Department des Innern), (1992): Hydrologischer Atlas der Schweiz. Landeshydrologie und geologie. Bern. Switzerland.
- EGLI, M., A. MIRABELLA, S. BISCHOF, R. ZANELLI, A. MANCABELLI and G. SARTORI, (2006): Effect of north and south exposition on weathering and clay mineral formation in Alpine soils. *Catena*, in press.
- EGLI, M., A. MIRABELLA, G. SARTORI and P. FITZE, (2003): Weathering rates as a function of climate: results from a climosequence of the Val Genova (Trentino, Italian Alps), *Geoderma* 111, 99-121.
- FAC (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene), (1989): Methoden für Bodenuntersuchungen. Liebefeld-Bern.
- HANTKE, R. (1978): Eiszeitalter 1: Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Klima, Flora, Fauna, Mensch, Alt- und Mittelpleistozäne, Vogesen, Schwarzwald, Schwäbische Alb. Ott Verlag, Thun, Switzerland.
- HANTKE, R. (1983): Eiszeitalter 3: Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Westliche Ostalpen mit ihrem bayerischen Vorland bis zum Inn-Durchbruch und Südalpen zwischen Dolomiten und Mont-Blanc. Ott Verlag, Thun, Switzerland.
- JENNY, H. (1941): Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Company, New York.
- MCKEAGUE, J.A., J.E. BRYDON and N.M. MILES (1971): Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 35, 33-38.
- MIRABELLA, A. and G. SARTORI, (1998): The effect of climate on the mineralogical properties of soils from the Val Genova Valley (Trentino, Italy). *Fresenius Environmental Bulletin* 7, 478-483.
- SARTORI, G., F. CORRADINI, A. MANCABELLI and U. WOLF, (1997): Principali tipi di suoli forestali nella provincia di Trento. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.* 72, 41-54.
- SARTORI, G., F. CORRADINI, C. BINI, S. GEMIGNANI and A. MANCABELLI, (2004a): Contenuto di metalli pesanti nei suoli del Trentino. *Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica* 79, 75-117.
- SARTORI, G., A. MANCABELLI, F. CORRADINI and U. WOLF, (2005): Atlante dei suoli del Parco Adamello-Brenta. Suoli e paesaggi. Monogr. Museo Trident. Sci. Nat., II, 239 pp.
- TINNER W., P. HUBSCHMID, M. WEHRLI, B. AMMANN and M. CONEDERA, (1999): Long-term forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. *Journal of Ecology* 87, 273-289.
- TRUMBORE, S.E. and S. ZHENG, (1996): Comparison of fractionation methods for soil organic matter ^{14}C analysis. *Radiocarbon* 38, 219-229.
- ZANELLI, R., M. EGLI, P. FITZE, D. GIACCAI, and A. MIRABELLA, (2006a): Influence of laurophyllous species, *Castanea sativa* and *Quercetum-Betuletum* vegetation on organic matter in soils in southern Switzerland and northern Italy. *Geoderma*, 136, 723-737.
- ZANELLI, R., M. EGLI, P. FITZE, D. GIACCAI, A. MIRABELLA and M. NÖTZLI, (2006b): 'Black' soils in the Southern Alps: clay mineral formation and transformation, amorphous phases and Fe forms. *Clays and Clay Minerals*, 54, 705-722.
- ZANELLI, R., M. EGLI, P. FITZE, D. GIACCAI and A. MIRABELLA, (2006c): The Influence of laurophyllous species, *Castanea sativa* and *Quercetum-Betuletum* forest on geochemistry and clay minerals in soil in Southern Switzerland and Northern Italy. Submitted.
- ZOLLER, H. (1960): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der in-subrischen Schweiz. *Denkschr. Schweiz. Natf. Ges.* 83, 45-156.